



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114088552 A

(43) 申请公布日 2022. 02. 25

(21) 申请号 202210072013.4

(22) 申请日 2022.01.21

(71) 申请人 山东高速集团有限公司

地址 250000 山东省济南市历下区龙奥北路8号

申请人 山东省交通科学研究院
山东高速股份有限公司 山东大学

(72) 发明人 周勇 王林 韩文扬 吕思忠

韦金城 马士杰 纪少波

(74) 专利代理机构 青岛智地领创专利代理有限公司 37252

代理人 陈海滨

(51) Int. Cl.

G01N 3/34 (2006.01)

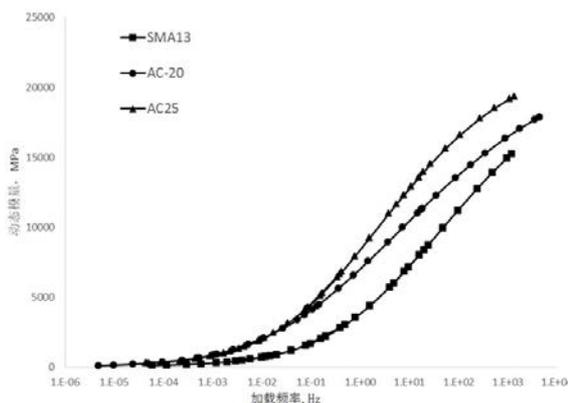
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种实时确定沥青混合料动态模量的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,属于道路工程技术领域。本发明根据实际沥青路面制备沥青混合料试样进行单轴压缩动态模量实验,测量不同温度和加载频率下沥青混合料试样的动态模量,获取沥青混合料动态模量主曲线,建立沥青混合料动态模量计算模型,通过在监测路面上设置沥青混合料动态模量智能监测系统,实时测量沥青路面的内部温度和行车车速,利用沥青混合料动态模量智能监测系统内部的沥青混合料动态模量计算模型,确定沥青路面的沥青混合料动态模量。本发明实现了沥青混合料动态模量的实时监测,为评估沥青路面结构服役性能提供了准确的材料参数,有利于指导沥青路面的结构设计和养护维修,延长沥青路面的使用寿命。



1. 一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,其特征在于,具体包括以下步骤:

步骤1,选取待监测的沥青路面,根据待监测沥青路面沥青层的结构和材料制备沥青混合料试样;

步骤2,利用材料试验机对沥青混合料试样进行单轴压缩动态模量试验,测量在不同试验温度和加载频率条件下沥青混合料试样各结构层的动态模量,基于时温等效原理建立沥青混合料动态模量主曲线;

步骤3,根据沥青混合料动态模量主曲线,确定沥青混合料动态模量计算模型,如式(1)所示:

$$\lg(E^*) = \delta + \frac{\lg(E_{max}) - \delta}{1 + e^{\beta + \gamma \left[\lg\left(\frac{1}{f}\right) - \lg\left(\frac{\Delta E_a}{19.14714} \left(\frac{1}{T+273.15} - \frac{1}{295.25} \right) \right) \right]}} \quad (1)$$

其中,

$$E_{max} = P_c \left[4200000 \left(1 - \frac{VMA}{100} \right) + 435000 \left(\frac{VFA \cdot VMA}{10000} \right) \right] + \frac{1 - P_c}{\left[\frac{1 - \frac{VMA}{100}}{4200000} + \frac{VMA}{435000 VFA} \right]} \quad (2)$$

$$P_c = \frac{\left(20 + \frac{435000 VFA}{VMA} \right)^{0.58}}{650 + \left(\frac{435000 VFA}{VMA} \right)^{0.58}} \quad (3)$$

式中, E^* 为沥青混合料的动态模量,单位为MPa; f 为加载频率,单位为Hz; T 为沥青混合料的温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$; E_{max} 为沥青混合料的最大限制模量,单位为MPa; δ 、 ΔE_a 、 β 、 γ 均为模型系数; VMA 为沥青混合料的矿料间隙率; VFA 为沥青混合料的沥青饱和度;

步骤4,在待监测沥青路面中安装沥青混合料动态模量智能监测系统,获取沥青路面上车辆的车速和沥青路面的内部温度,计算沥青路面上车辆荷载对路面的加载频率,如式(4)所示:

$$f = \frac{1}{2\pi \times 10^{0.5d - 0.2 - 0.94 \lg(v)}} \quad (4)$$

式中, f 为加载频率,单位为Hz; d 为沥青路面中沥青层的厚度,单位为m; v 为沥青路面上车辆的车速,单位为km/h;

根据沥青路面上车辆荷载对路面的加载频率和沥青层中各结构层的内部温度,利用沥青混合料动态模量计算模型,确定沥青路面沥青层中各结构层的沥青混合料动态模量。

2. 根据权利要求1所述的一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,其特征在于,所述沥青路面的沥青层内设置有三个结构层,由上到下依次为上面层、中面层和下面层。

3. 根据权利要求1所述的一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,其特征在于,所述

步骤2中,选取多个试验温度,在各试验温度条件下分别测量加载频率为0.1Hz、0.2Hz、0.5 Hz、1 Hz、2 Hz、5 Hz、10 Hz、20 Hz、25 Hz时沥青混合料试样的动态模量。

4.根据权利要求3所述的一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,其特征在于,所述试验温度为20℃、35℃和50℃。

5.根据权利要求1所述的一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,其特征在于,所述步骤4中,沥青混合料动态模量智能监测系统包括交通轴载测量装置、路面结构温度测量装置和沥青路面数据处理装置,沥青路面数据处理装置分别与交通轴载测量装置、路面结构温度测量装置相连接;

所述交通轴载测量装置用于测量沥青路面上行驶车辆的车速,路面结构温度测量装置用于测量沥青路面沥青层中各结构层的内部温度,沥青路面数据处理装置内设置有沥青混合料动态模量计算模型,用于接收交通轴载测量装置和路面结构温度测量装置的测量数据,实时计算沥青路面的沥青混合料动态模量。

6.根据权利要求5所述的一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,其特征在于,所述交通轴载测量装置设置于沥青层的顶部,路面结构温度测量装置设置于沥青层各结构层的内部。

7.根据权利要求6所述的一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,其特征在于,所述路面结构温度测量装置设置为温度传感器。

一种实时确定沥青混合料动态模量的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及道路工程技术领域,具体涉及一种实时确定沥青混合料动态模量的方法。

背景技术

[0002] 沥青混合料动态模量作为沥青路面服役性能分析中表征材料特性的重要参数,是沥青路面结构设计和养护维修的重要依据,沥青混合料动态模量的确定是路面服役性能分析的关键环节。由于沥青混合料的力学性质易受加载时间和温度的影响,导致其动态模量在特定条件下(加载时间和温度)为特定值,目前,通常使用沥青混合料在10Hz、20℃条件下的动态模量分析沥青路面服役性能,评价沥青路面的路面服役情况。但是,沥青路面实际服役过程中会受到不同交通荷载及环境条件的影响,单纯利用沥青混合料在10Hz、20℃条件下的动态模量无法准确分析沥青路面的路面服役性能,从而无法为沥青路面服役情况的精确评估提供有力依据。

发明内容

[0003] 本发明旨在解决上述问题,提供了一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,实现了对沥青路面中沥青混合料动态模量的实时监测,为沥青路面服役性能的准确评估提供了依据。

[0004] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,具体包括以下步骤:

步骤1,选取待监测的沥青路面,根据待监测沥青路面沥青层的结构和材料制备沥青混合料试样;

步骤2,利用材料试验机对沥青混合料试样进行单轴压缩动态模量试验,测量在不同试验温度和加载频率条件下沥青混合料试样各结构层的动态模量,基于时温等效原理建立沥青混合料动态模量主曲线;

步骤3,根据沥青混合料动态模量主曲线,确定沥青混合料动态模量计算模型,如式(1)所示:

$$\lg(E^*) = \delta + \frac{\lg(E_{max}) - \delta}{1 + e^{\beta + \gamma \left\{ \lg\left(\frac{1}{f}\right) - \lg\left(\frac{\Delta E_a}{19.14714 \left(\frac{1}{T+273.15} - \frac{1}{295.25}\right)}\right)\right\}}} \quad (1)$$

其中,

$$E_{max} = P_c \left[4200000 \left(1 - \frac{VMA}{100} \right) + 435000 \left(\frac{VFA \cdot VMA}{10000} \right) \right] + \frac{1 - P_c}{\left[\frac{1 - \frac{VMA}{100}}{4200000} + \frac{VMA}{435000 VFA} \right]} \quad (2)$$

$$P_c = \frac{\left(20 + \frac{435000VFA}{VMA}\right)^{0.58}}{650 + \left(\frac{435000VFA}{VMA}\right)^{0.58}} \quad (3)$$

式中, E^* 为沥青混合料的动态模量, 单位为 MPa; f 为加载频率, 单位为 Hz; T 为沥青混合料的温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$; E_{max} 为沥青混合料的最大限制模量, 单位为 MPa; δ 、 ΔE_a 、 β 、 γ 均为模型系数; VMA 为沥青混合料的矿料间隙率; VFA 为沥青混合料的沥青饱和度;

步骤4, 在待监测沥青路面中安装沥青混合料动态模量智能监测系统, 获取沥青路面上车辆的车速和沥青路面的内部温度, 计算沥青路面上车辆荷载对路面的加载频率, 如式(4)所示:

$$f = \frac{1}{2\pi \times 10^{0.5d-0.2-0.94\lg(v)}} \quad (4)$$

式中, f 为加载频率, 单位为 Hz; d 为沥青路面中沥青层的厚度, 单位为 m; v 为沥青路面上车辆的车速, 单位为 km/h;

根据沥青路面上车辆荷载对路面的加载频率和沥青层中各结构层的内部温度, 利用沥青混合料动态模量计算模型, 确定沥青路面沥青层中各结构层的沥青混合料动态模量。

[0005] 优选地, 所述沥青路面的沥青层内设置有三个结构层, 由上到下依次为上面层、中面层和下面层。

[0006] 优选地, 所述步骤2中, 选取多个试验温度, 在各试验温度条件下分别测量加载频率为 0.1 Hz、0.2 Hz、0.5 Hz、1 Hz、2 Hz、5 Hz、10 Hz、20 Hz、25 Hz 时沥青混合料试样的动态模量。

[0007] 优选地, 所述试验温度为 20°C 、 35°C 和 50°C 。

[0008] 优选地, 所述步骤4中, 沥青混合料动态模量智能监测系统包括交通轴载测量装置、路面结构温度测量装置和沥青路面数据处理装置, 沥青路面数据处理装置分别与交通轴载测量装置、路面结构温度测量装置相连接;

所述交通轴载测量装置用于测量沥青路面上行驶车辆的车速, 路面结构温度测量装置用于测量沥青路面沥青层中各结构层的内部温度, 沥青路面数据处理装置内设置有沥青混合料动态模量计算模型, 用于接收交通轴载测量装置和路面结构温度测量装置的测量数据, 实时计算沥青路面的沥青混合料动态模量。

[0009] 优选地, 所述交通轴载测量装置设置于沥青层的顶部, 路面结构温度测量装置设置于沥青层各结构层的内部。

[0010] 优选地, 所述路面结构温度测量装置设置为温度传感器。

[0011] 本发明所带来的有益技术效果:

本发明方法通过试验确定沥青混合料动态模量主曲线, 获取沥青混合料动态模量主曲线, 建立沥青混合料动态模量计算模型, 确定了沥青路面行驶车辆车速、内部温度与沥青混合料动态模量之间的关系, 实现了对沥青混合料动态模量的准确计算。同时, 本发明方

法还利用沥青混合料动态模量智能检测系统实现了对沥青路面中沥青混合料动态模量的实时监测,为沥青路面结构服役性能的评价提供了精确的材料参数,有利于沥青路面的结构设计和养护维修,延长沥青路面的使用寿命。

附图说明

[0012] 图1为本发明实施例中沥青路面的路面结构。

[0013] 图2为本发明实施例中的沥青混合料动态模量主曲线;图中,SMA13曲线为上面层的沥青混合料动态模量主曲线,AC20曲线为中面层的沥青混合料动态模量主曲线,AC25为下面层的沥青混合料动态模量主曲线。

具体实施方式

[0014] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步详细描述。

[0015] 本发明提出了一种实时确定沥青混合料动态模量的方法,具体包括以下步骤:

步骤1,选取待监测的沥青路面,根据待监测沥青路面沥青层的结构和材料制备沥青混合料试样。

[0016] 步骤2,利用材料试验机对沥青混合料试样进行单轴压缩动态模量试验,设置多个试验温度,对于各试验温度分别改变加载频率,测量同一温度不同加载频率条件下沥青混合料试样各结构层的动态模量,并基于时温等效原理建立沥青混合料动态模量主曲线。

[0017] 步骤3,根据沥青混合料动态模量主曲线,确定沥青混合料动态模量计算模型,如式(1)所示:

$$\lg(E^*) = \delta + \frac{\lg(E_{max}) - \delta}{1 + e^{\beta + \gamma \left\{ \lg\left(\frac{1}{f}\right) - \lg\left(\frac{\Delta E_a}{19.14714(T+273.15) - 295.25}\right)\right\}}} \quad (1)$$

其中,

$$E_{max} = P_c \left[4200000 \left(1 - \frac{VMA}{100} \right) + 435000 \left(\frac{VFA \cdot VMA}{10000} \right) \right] + \frac{1 - P_c}{\left[\frac{1 - \frac{VMA}{100}}{4200000} + \frac{VMA}{435000 VFA} \right]} \quad (2)$$

$$P_c = \frac{\left(20 + \frac{435000 VFA}{VMA} \right)^{0.58}}{650 + \left(\frac{435000 VFA}{VMA} \right)^{0.58}} \quad (3)$$

式中, E^* 为沥青混合料的动态模量,单位为MPa; f 为加载频率,单位为Hz; T 为沥青混合料的温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$; E_{max} 为沥青混合料的最大限制模量,单位为MPa; δ 、 ΔE_a 、 β 、 γ 均为模型系数; VMA 为沥青混合料的矿料间隙率; VFA 为沥青混合料的沥青饱和度。

[0018] 步骤4,在待监测沥青路面中安装沥青混合料动态模量智能监测系统,沥青混合料动态模量智能监测系统包括交通轴载测量装置、路面结构温度测量装置和沥青路面数据处

理装置,交通轴载测量装置用于测量沥青路面上行驶车辆的车速,路面结构温度测量装置用于测量沥青层中各结构层的内部温度,沥青路面数据处理装置分别与交通轴载测量装置、路面结构温度测量装置相连接,沥青路面数据处理装置用于实时接收交通轴载测量装置和路面结构温度测量装置的测量数据,计算沥青路面的沥青混合料动态模量。

[0019] 沥青路面数据处理装置能够根据沥青路面上车辆的车速计算车辆荷载对路面的加载频率,如式(4)所示:

$$f = \frac{1}{2\pi \times 10^{0.5d - 0.2 - 0.94 \lg(v)}} \quad (4)$$

式中, f 为加载频率,单位为Hz; d 为沥青路面中沥青层的厚度,单位为m; v 为沥青路面上车辆的车速,单位为km/h。

[0020] 沥青路面数据处理装置内部还设置有沥青混合料动态模量计算模型,通过将车辆荷载的加载频率和沥青层中各结构层的内部温度代入沥青混合料动态模量计算模型中,即可实时计算沥青路面沥青层中各结构层的沥青混合料动态模量。

[0021] 实施例1

本实施例以山东济南地区高速公路沥青路面为例,在高速公路上选取实验路段,采用本发明提出的一种实时确定沥青混合料动态模量的方法实时监测实验路段的沥青混合料动态模量,具体包括以下步骤:

步骤1,获取实验路段的路面结构,如图1所示,路面结构由上到下依次为沥青层(包括上面层、中面层和下面层)、粒料层和路基,沥青层厚度 d 为180mm,粒料层设置为34cm级配碎石。沥青层由上到下依次设置为上面层、中面层和下面层,其中,上面层厚度为40mm,采用SMA13铺设而成,沥青混合料的沥青饱和度为65%、矿料间隙率为15.5%;中面层厚度为60mm,采用AC20铺设而成,沥青混合料的沥青饱和度为63%、矿料间隙率为15.3%;下面层厚度为80mm,采用AC25铺设而成,沥青混合料的沥青饱和度为67%、矿料间隙率为15.7%。

[0022] 根据实验路段沥青层的结构和材料制备沥青混合料试样,并利用该沥青混合料试样确定实验路段的沥青混合料动态模量主曲线。

[0023] 步骤2,在实验室内利用材料试验机对沥青混合料试样进行单轴压缩动态模量试验,设置试验温度为20℃、35℃和50℃,在各温度条件下依次将加载频率调整为0.1Hz、0.2Hz、0.5 Hz、1 Hz、2 Hz、5 Hz、10 Hz、20 Hz和25 Hz,分别测量加载频率为0.1Hz、0.2Hz、0.5 Hz、1 Hz、2 Hz、5 Hz、10 Hz、20 Hz、25 Hz时沥青混合料试样沥青层中各结构层的动态模量,测量结果如表1所示。

[0024] 针对沥青混合料试样沥青层的各结构层,基于时温等效原理,分别对不同温度条件下沥青混合料试样的加载频率和动态模量进行拟合,建立沥青混合料动态模量主曲线,如图2所示。

[0025] 表1 单轴压缩动态模量试验测量结果

试验温度 [⊘] (°C) ⊘	加载频率 [⊘] (Hz) ⊘	沥青混合料动态模量, Mpa [⊘]		
		SMA13 [⊘]	AC20 [⊘]	AC25 [⊘]
21 [⊘]	25 [⊘]	8482 [⊘]	12052 [⊘]	14943 [⊘]
20 [⊘]	20 [⊘]	8016 [⊘]	11654 [⊘]	14382 [⊘]
20 [⊘]	10 [⊘]	6803 [⊘]	10177 [⊘]	12731 [⊘]
20 [⊘]	5 [⊘]	5729 [⊘]	8778 [⊘]	11209 [⊘]
20 [⊘]	2 [⊘]	4471 [⊘]	7069 [⊘]	9350 [⊘]
20 [⊘]	1 [⊘]	3632 [⊘]	5887 [⊘]	8030 [⊘]
20 [⊘]	0.5 [⊘]	2920 [⊘]	4829 [⊘]	6799 [⊘]
20 [⊘]	0.2 [⊘]	2155 [⊘]	3671 [⊘]	5382 [⊘]
20 [⊘]	0.1 [⊘]	1710 [⊘]	2973 [⊘]	4473 [⊘]
35 [⊘]	25 [⊘]	2877 [⊘]	5138 [⊘]	6407 [⊘]
35 [⊘]	20 [⊘]	2668 [⊘]	4803 [⊘]	6018 [⊘]
35 [⊘]	10 [⊘]	2058 [⊘]	3826 [⊘]	4896 [⊘]
35 [⊘]	5 [⊘]	1578 [⊘]	3024 [⊘]	3940 [⊘]
35 [⊘]	2 [⊘]	1097 [⊘]	2199 [⊘]	2923 [⊘]
35 [⊘]	2 [⊘]	1097 [⊘]	2199 [⊘]	2923 [⊘]
35 [⊘]	1 [⊘]	843.1 [⊘]	1724 [⊘]	2301 [⊘]
35 [⊘]	0.5 [⊘]	656.2 [⊘]	1379 [⊘]	1827 [⊘]
35 [⊘]	0.2 [⊘]	476.1 [⊘]	1040 [⊘]	1345 [⊘]
35 [⊘]	0.1 [⊘]	381.1 [⊘]	858.2 [⊘]	1074 [⊘]
50 [⊘]	25 [⊘]	926.8 [⊘]	926.8 [⊘]	2315 [⊘]
50 [⊘]	20 [⊘]	820 [⊘]	820 [⊘]	2071 [⊘]
50 [⊘]	10 [⊘]	609.7 [⊘]	609.7 [⊘]	1564 [⊘]
50 [⊘]	5 [⊘]	453.7 [⊘]	453.7 [⊘]	1180 [⊘]
50 [⊘]	2 [⊘]	302 [⊘]	302 [⊘]	815.3 [⊘]
50 [⊘]	1 [⊘]	246.9 [⊘]	246.9 [⊘]	634.9 [⊘]
50 [⊘]	0.5 [⊘]	204.1 [⊘]	204.1 [⊘]	508 [⊘]
50 [⊘]	0.2 [⊘]	162.4 [⊘]	162.4 [⊘]	383.6 [⊘]
50 [⊘]	0.1 [⊘]	141 [⊘]	141 [⊘]	315 [⊘]

步骤3,根据沥青混合料动态模量主曲线,得到沥青层中各结构层沥青混合料动态模量计算模型,如下所示:

沥青层中上面层的沥青混合料动态模量计算模型为:

$$|E_1^*| = \frac{10^{\left(\frac{3.81 + \frac{2.71}{1 + e^{-0.92 - 0.58 \left[\lg\left(\frac{1}{f}\right) - \lg\left(9122.75 \times \left(\frac{1}{T_1 + 273.15} - 0.0034\right)\right)\right]}}{1 + e^{-0.92 - 0.58 \left[\lg\left(\frac{1}{f}\right) - \lg\left(9122.75 \times \left(\frac{1}{T_1 + 273.15} - 0.0034\right)\right)\right]}} \right)}}{145} \quad (5)$$

式中, $|E_1^*|$ 为上面层的沥青混合料动态模量, 单位为MPa; f 为加载频率, 单位为Hz; T_1 为上面层的温度, 单位为°C;

沥青层中中面层的沥青混合料动态模量计算模型为:

$$|E_2^*| = \frac{10^{\left(\frac{3.28 + \frac{3.24}{-1.68 - 0.47 \left\{ \lg\left(\frac{1}{f}\right) - \lg\left(12179.43 \times \left(\frac{1}{T_2 + 273.15} - 0.0034\right)\right)\right\}}{1+e} \right)}}{145} \quad (6)$$

式中, $|E_2^*|$ 为中面层的沥青混合料动态模量, 单位为MPa; f 为加载频率, 单位为Hz; T_2 为中面层的温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$;

沥青层中下面层的沥青混合料动态模量计算模型为:

$$|E_3^*| = \frac{10^{\left(\frac{4.15 + \frac{2.37}{-1.5 - 0.64 \left\{ \lg\left(\frac{1}{f}\right) - \lg\left(9444.90 \times \left(\frac{1}{T_3 + 273.15} - 0.0034\right)\right)\right\}}{1+e} \right)}}{145} \quad (7)$$

式中, $|E_3^*|$ 为下面层的沥青混合料动态模量, 单位为MPa; f 为加载频率, 单位为Hz; T_3 为下面层的温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0026] 由于实际沥青路面的加载频率由沥青路面上的车辆荷载所产生, 因此, 利用沥青路面上行驶车辆的车速可以确定车辆荷载作用于沥青路面上的加载频率, 从而仅需确定行驶于沥青路面上车辆的车速和沥青层中各结构层的内部温度输入至沥青路面各结构层的沥青混合料动态模量计算模型中, 即可确定沥青路面沥青层中各结构层的沥青混合料动态模量。

[0027] 步骤4, 设置沥青混合料动态模量智能监测系统, 沥青混合料动态模量智能监测系统包括交通轴载测量装置、路面结构温度测量装置和沥青路面数据处理装置, 将交通轴载测量装置安装于沥青层的顶部, 将路面结构温度测量装置分别埋设于沥青层的上面层、中面层和下面层内部, 本实施例中路面结构温度测量装置为温度传感器, 交通轴载测量装置、路面结构温度测量装置均与沥青路面数据处理装置相连接, 沥青路面数据处理装置内部设置有沥青路面沥青层中各结构层的沥青混合料动态模量计算模型。

[0028] 利用交通轴载测量装置实时测量得到实验路段上车辆的车速为80Km/h, 同时利用路面结构温度测量装置测量得到沥青层中上面层温度为 51°C 、中面层温度为 48°C 、下面层温度为 41°C 。将交通轴载测量装置和路面结构温度测量装置的测量数据实时传输至沥青路面数据处理装置中, 计算得到沥青层中各结构层的沥青混合料动态模量, 其中, 上面层的沥青混合料动态模量为837MPa、中面层的沥青混合料动态模量为1393MPa、下面层的沥青混合料动态模量为4397MPa, 从而实现了对实验路段沥青层中各结构层沥青混合料动态模量的实时监测。

[0029] 当然, 上述说明并非是对本发明的限制, 本发明也并不仅限于上述举例, 本技术领域的技术人员在本发明的实质范围内所做出的变化、改型、添加或替换, 也应属于本发明的保护范围。

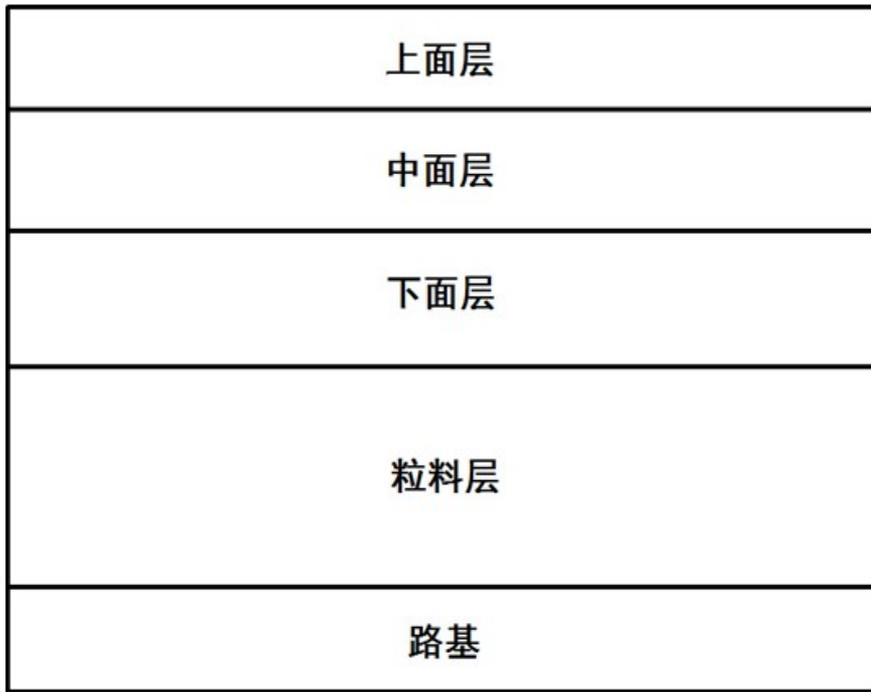


图1

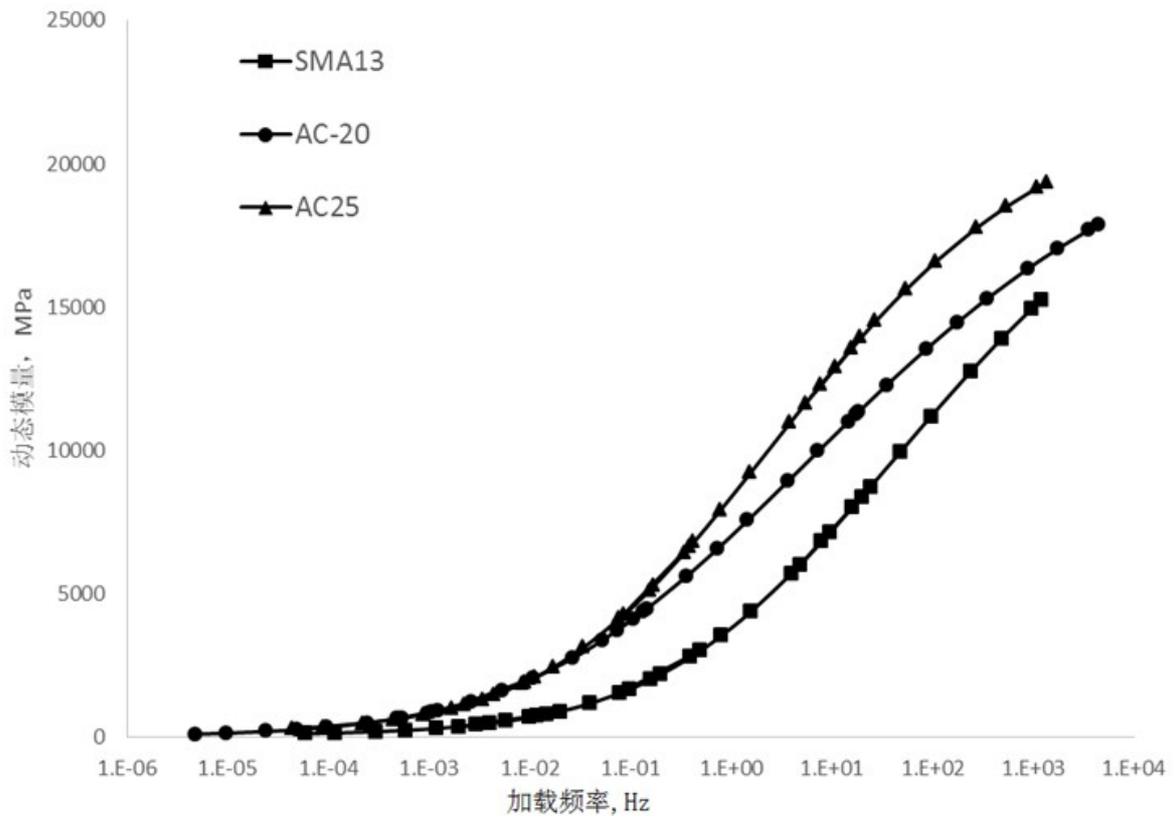


图2